

# RECURSOS GENÉTICOS PARA HACER FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO

**Gerardo Tapia S.**  
Bioquímico, Dr.  
gtapia@inia.cl

**Hernán Acuña P.**  
Ingeniero Agrónomo, Ph.D.

**Luis Inostroza F.**  
Ingeniero Agrónomo, Dr.  
INIA Quilamapu

El hombre ha cultivado la tierra durante milenios bajo condiciones en que los niveles de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) atmosférico alcanzaban entre 260 y 280 partes por millón (ppm) y las variaciones de temperatura no superaban una amplitud de 1°C. Sin embargo, desde hace un centenar de años las temperaturas medias se han incrementado en todo el planeta. Ello ha estado acompañado por un aumento en la concentración atmosférica de CO<sub>2</sub>, la que ya alcanza a 370 ppm y se espera llegue a 500-1.000 ppm para fines de siglo.

Existen amplios debates respecto a si el cambio climático es resultado de la acción humana asociada a la emisión de gases de efecto invernadero —como dióxido de carbono, metano y

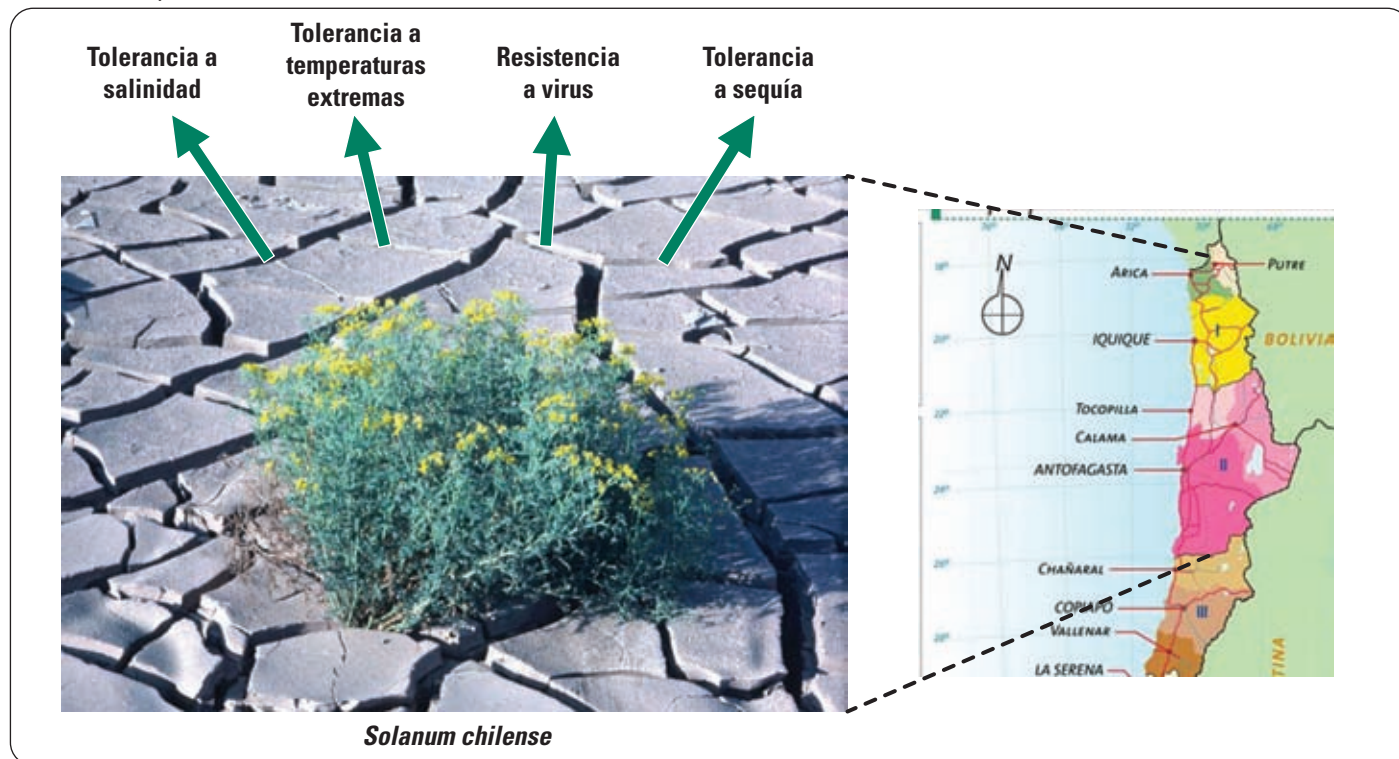
óxido nitroso— o es la expresión de ciclos periódicos en la historia de la Tierra. Dentro de las evidencias del calentamiento global se cuentan el incremento lineal en las temperaturas promedio (incluidas la del aire y la de la superficie del mar), el retroceso de glaciares, y el adelgazamiento de las capas de hielo en Groenlandia y la Antártica, los cuales han provocado un incremento en el nivel del mar. Modificaciones climáticas han sido descritas a nivel continental y oceánico, particularmente en Latinoamérica. Éstas se han hecho sentir de forma dramática en las últimas décadas. Un ejemplo es la reducción de un 20%, desde 1968, de los glaciares en la región andina de Perú y el sur de Chile. Hay evidencia de variabilidad climá-

tica en todo el subcontinente, con gran impacto socioeconómico y ambiental.

## Efecto en los cultivos

Preocupa la manera en que el cambio climático afectará la sustentabilidad de la vida como hoy la conocemos. Por tal razón, desde hace un par de decenios se estudia el efecto sobre los cultivos. Se han hecho avances sustanciales en el conocimiento de la fisiología de las plantas y su sensibilidad frente a distintas condiciones climáticas. Ya se sabe el efecto de la sequía y las temperaturas altas sobre los principales cultivos, así como su grado de sensibilidad en estados de desarrollo bien determinados, y los umbrales que provocan los

**Figura 1.** *Solanum chilense* se distribuye entre la Regiones de Arica y Parinacota y la de Atacama, en Chile, en un hábitat donde debe tolerar condiciones extremas de estrés biótico y abiótico.



daños. Estudios han simulado ambientes donde se presentan altos niveles de CO<sub>2</sub>, observándose que mejoran el uso eficiente de agua para la mayoría de las especies, lo cual tiene relación con una menor tasa de transpiración a través de los estomas.

La disponibilidad de agua para fines agrícolas será limitada en el futuro y deberá ponerse atención en mejorar la eficiencia de su uso. En este escenario, el valor de los recursos genéticos se incrementará y se intensificará su utilización, puesto que parte de los materiales almacenados en los bancos de germoplasma de todo el mundo poseen características de tolerancia deseables para los programas de mejoramiento.

### El tomate silvestre

El tomate constituye la hortaliza de mayor valor económico y de mayor difusión en el planeta. Esto se debe, entre otras razones, a su alto contenido nutritivo (vitamina A, C y E, antioxidantes, calcio y fósforo). Su cultivo es importante tanto por su adaptabilidad a distintos pisos ecológicos, como por su nivel de rendimiento. En Chile, sus 6.350 hectáreas (ha) plantadas lo convierten en el tercer cultivo hortícola más importante. El 56% de dicha superficie está en manos de pequeños agricultores, por lo que se trata de un cultivo estratégico para sectores de menor ingreso.

La planta tiene como centro de origen la región andina comprendida entre Perú, Ecuador, Bolivia, el norte de Chile y las islas Galápagos. Las especies de tomate silvestre crecen en una variedad amplia de hábitat, desde el nivel del mar hasta más de 3.300 metros de altura. Estas especies, en especial las que no son capaces de autofecundarse, como *Solanum chilense* y *Solanum peruvianum*, poseen una alta variabilidad genética en sus

poblaciones. Desde el punto de vista genético, constituyen un reservorio de gran riqueza.

Se prevé que el cambio climático provocará incrementos en las temperaturas medias, así como periodos prolongados de ausencia de precipitaciones. Se ha descrito que las altas temperaturas afectan negativamente los procesos reproductivos y vegetativos del tomate, provocando una reducción en el rendimiento y calidad de los frutos en valores que van de un 10 a un 30%.

Se ha asociado la causa a producción deficiente de polen, desarrollo anormal de los tejidos reproductivos femeninos, desbalance hormonal, bajos niveles de carbohidratos, entre otros factores. Un alza en las temperaturas por sobre los 35°C inhibe reversiblemente la maduración de los frutos de tomate. Esto último ha sido atribuido a la inhibición en la síntesis de etileno, disrupción de la actividad de algunas enzimas, así como de la expresión de genes involucrados en sus vías de síntesis. Las altas temperaturas han sido vinculadas también a una mayor susceptibilidad a enfermedades y plagas.

La mayoría de las variedades comerciales de tomate son sensibles a la falta de agua en todos los estados de desarrollo. El periodo de germinación de la semilla y el de plántula son los más sensibles. El estrés hídrico también afecta la resistencia a enfermedades.

El cultivo del tomate en la región andina se ha visto afectado en su producción hasta en un 50% a causa de la falta de agua e infecciones por patógenos. Los efectos de las altas temperaturas no han sido cuantificados.

Las especies silvestres de tomate cuentan con una alta variabilidad genética, intensamente investigada. Poseen caracteres muy deseables para su incorporación en cultivares comerciales, como son la resistencia a diferentes tipos de patógenos, tole-



Foto 1. Plántulas de *Solanum chilense* pertenecientes a la colección de germoplasma de especies de tomate silvestre.

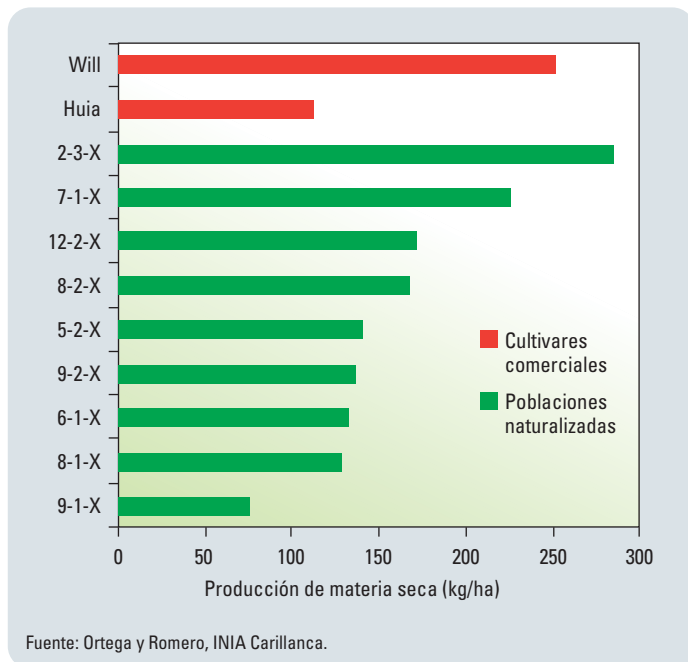
rancia a condiciones ambientales poco favorables, alto contenido de vitaminas, azúcares, minerales y antioxidantes en sus frutos. Algunos de estos caracteres han sido descritos en *S. peruvianum*, *S. hirsutum*, *S. pimpinellifolium*, *S. pennellii* y *S. chilense*, entre otras especies.

Por su distribución y hábitat, las especies silvestres de tomate poseen elevado interés en relación al cambio climático; por ejemplo, la tolerancia al estrés hídrico de *Solanum chilense* o la tolerancia a temperaturas extremas y patógenos de *S. peruvianum*. Especies como *S. cheesmani*, *S. pimpinellifolium*, *S. pennellii*, *S. lycopersicum* var. Cerasiforme, etc., son utilizadas como base genética para obtener variedades ya que presentan resistencia a numerosos hongos, virus e insectos, al igual que tolerancia a sequía, salinidad y heladas.

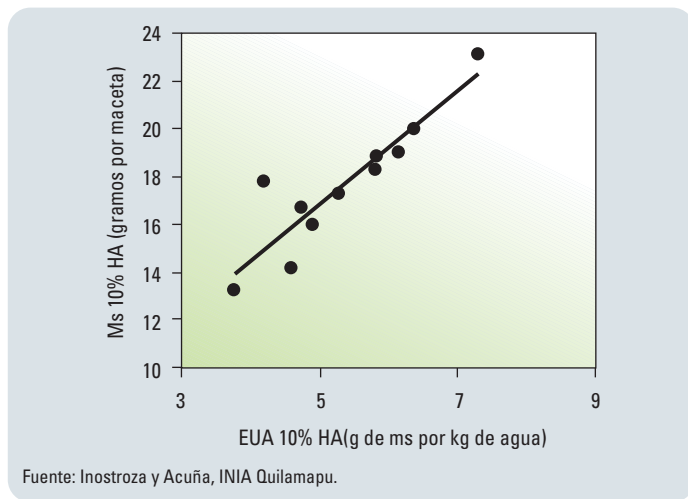
La tolerancia al estrés hídrico está dada por la acción combinada de varios genes, de manera que el mejoramiento genético se convierte en una actividad compleja en donde se requiere transferir más de un gen desde el genotipo tolerante al sensible. Una situación similar ocurre para el estrés por temperatura.

Muchas de las especies silvestres del género *Solanum* presentan una biología reproductiva que las hace vulnerables a ser consumidas por herbívoros. Conjuntamente con su carácter autoincompatible, el cambio climático traerá como consecuencia modificaciones en los hábitat de estas especies, haciéndolas susceptibles a la depresión genética y a su posible extinción, como resultado de la pequeña población de algunas de ellas. La erosión genética que han sufrido debido a la acción del hombre será incrementada por el cambio climático.

**Figura 2.** Rendimientos de materia seca (kg/ha) de nueve poblaciones naturalizadas y dos cultivares comerciales de trébol blanco bajo condiciones de sequía. Total temporada 2007/08, INIA Carillanca.



**Figura 3.** Relación entre la eficiencia en el uso del agua (EUA) y producción de materia seca (ms) bajo condiciones de estrés hídrico (10% de humedad aprovechable, HA) de 11 poblaciones de trébol blanco.



La Unidad Recursos Genéticos de INIA Quilamapu integra un consorcio internacional formado como parte de un proyecto FONTAGRO. En él participan también el Instituto de Investigación Agraria (INIA), Perú; la Fundación de Promoción e Investigación de Productos Andinos (PROINPA), Bolivia; el Instituto de Biología Molecular y Celular de Plantas (IBMCP), España; el Centro de Agricultura y Medio Ambiente de la Universidad de

Chile; el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Colombia, y el Centro Internacional para las Investigaciones Agrícolas en las Zonas Áridas (ICARDA), de Siria. Se busca desarrollar herramientas y conocimientos apropiables en aspectos de premejoramiento, como base para programas dirigidos a obtener variedades comerciales de tomate con características de tolerancia a estrés abiótico y resistencia a patógenos, para ha-

cer frente al cambio climático.

### Praderas adaptadas a ambientes con limitaciones

En Argentina, Brasil y Uruguay la producción bovina y ovina representa una porción relevante del producto bruto nacional. En Chile, si bien la ganadería no tiene una importancia relativa equivalente, su aporte al sector agrícola se hace cada vez más significativo. La mejora de la producción animal en el Cono Sur está determinada por la productividad, calidad y superficie de praderas, tanto naturales como cultivadas.

Las praderas naturales dominan ampliamente (con un 70% del área total), en gran medida debido a la carencia de tecnologías adecuadas para mejorarlas, en extensas regiones con fuertes restricciones ambientales. Las especies leguminosas, de alta calidad nutritiva y fijadoras de nitrógeno, constituyen alternativas de interés para el mejoramiento de estas praderas. En los ambientes aludidos crecen genotipos adaptados a las condiciones predominantes, a partir de los cuales es posible obtener material genético de alto valor para generar variedades de buena adaptación a los factores limitantes. La sequía es una variable que cruza todos los ambientes señalados, y se acentuará por efecto del cambio climático en muchos de ellos, especialmente en Chile.

Instituciones de Uruguay y Chile ejecutan un proyecto financiado por el Fondo de Tecnología Agropecuaria, FONTAGRO, denominado "Ampliación de la base genética de leguminosas forrajeras naturalizadas para sistemas pastoriles sustentables". Con el liderazgo de los INIA de ambos países, participan las Facultades de Agronomía de la Universidad de la República de Uruguay y de la Universidad Austral de Chile,

además de empresas privadas ligadas a la producción y comercialización de semillas (CAF, Cooperativas Agrícolas Federadas de Uruguay, y BIOSEMILLAS Ltda., de Chile). Entre los objetivos generales del proyecto se cuentan:

- Conservar y desarrollar los recursos genéticos de especies naturalizadas de los géneros *Lotus*, *Medicago* y *Trifolium* (anuales y perennes) de valor agronómico, mediante una colecta en la que participen tanto investigadores como productores ganaderos.
- Caracterizar la diversidad genética de poblaciones naturalizadas de estas leguminosas en relación con la adaptación natural al pastoreo y estreses bióticos, así como la respuesta bioquímico-fisiológica frente a estreses abióticos, en especial sequía.

El proyecto "proveerá" un número de soluciones biotecnológicas (recursos biológicos y herramientas en calidad de insumos) para mejorar la adaptación de especies forrajeras a ambientes restrictivos y aumentar la productividad y sustentabilidad de las pasturas en la región.

### Colecta, conservación y caracterización de *Trifolium*

Se pretende ampliar la base genética de los programas de mejoramiento existentes y de otros que deberán ser creados en un futuro cercano, favoreciendo al desarrollo de nuevas variedades. Estos programas podrían ser la base para liberar cultivares en plazos de 3 a 5 años post proyecto para las especies anuales y 6 a 8 años para especies perennes.

En el Centro Experimental INIA Cauquenes, se lleva a cabo una caracterización fenológica y agronómica de accesiones y

cultivares de leguminosas forrajeras anuales para el secano mediterráneo de Chile. Se dispone de 18 accesiones y cultivares de especies anuales del género *Trifolium*. Gran parte del material fue colectado durante primavera-verano de 2006/07.

En el caso de las leguminosas perennes se está trabajando con germoplasma naturalizado de trébol blanco (*Trifolium repens*) recolectado en el país en la década pasada, con apoyo de programas internacionales (PROCISUR y PROCIANDINO). Se cuenta con más de 50 accesiones. Las actividades se centran en la selección de poblaciones, en condiciones de campo bajo pastoreo, que se adapten a suelos con bajos niveles de fósforo disponible (INIA Quilamapu), tolerantes a estrés hídrico (INIA Carillanca), que acepten elevados niveles de aluminio en el suelo (INIA Remehue), y en condiciones de ambiente controlado, para los tres estreses mencionados, en la Universidad Austral de Chile.

### Trébol blanco frente a estrés hídrico

En el Centro Regional de Investigación INIA Carillanca, se estudian nueve poblaciones naturalizadas de trébol blanco con el objetivo de seleccionar materiales tolerantes al estrés hídrico. Las evaluaciones se están haciendo bajo dos tratamientos: con riego y sin riego, que reflejan las dos modalidades de uso de la especie en la región. En la figura 2 se presenta la producción de materia seca (ms) de las poblaciones de trébol bajo condiciones de sequía durante el primer año de evaluación. Se puede observar que una población naturalizada superó la producción de forraje obtenida por cultivares comerciales. La figura 3 corresponde a resultados obtenidos en Quilamapu, donde se midió, en condiciones de invernadero (foto



Foto 2. Arriba: selección de poblaciones de trébol blanco frente a estrés hídrico en condiciones de invernadero. Abajo: efecto de la sequía sobre la producción de forraje en trébol blanco. HA: humedad aprovechable.

2), la eficiencia del uso del agua (EUA) por parte de las nueve accesiones y dos cultivares control, usando dos tratamientos contrastantes de humedad del suelo (10 y 100% de humedad aprovechable). Se encontró una amplia variabilidad en este carácter dentro del grupo de poblaciones estudiado y se observó que poblaciones con alta EUA logran

una mayor producción de forraje bajo condiciones de sequía (figura 2).

### En síntesis

Los recursos genéticos silvestres y naturalizados constituyen una fuente rica de caracteres necesarios para el mejoramiento genético de especies cul-

tivadas. Los proyectos aquí descritos buscan el desarrollo de genotipos tolerantes a diversos tipos de estrés, los cuales se están viendo intensificados debido al cambio climático. Los resultados serán, por tanto, valorados por su capacidad para enfrentar los nuevos escenarios de la agricultura en las próximas décadas. 